

# Die Umsetzung des automatisierten Bahnbetriebs zwischen Technik, Regelwerken und Wirtschaftlichkeit

Digitalisierung und Automatisierung sind Schlüsseltechnologien, deren Einsatz bei der Bahn Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit erhöhen sollen. Was aber bringt die Automatisierung wirklich? Wie weit sollte Automatisierung gehen, um ein sinnvolles Kosten-Nutzen Verhältnis zu erzielen? Das DLR untersucht mögliche Lösungsansätze und bewertet diese beispielsweise hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Kapazität und Kosteneffizienz. Berücksichtigt werden dabei auch notwendige Änderungen bei der Zulassung sowie in den Regelwerken.

## 1. Ausgangslage

Anders als im Straßenverkehr bedeutet Automatisierung im Schienenverkehr mehr als nur das Fahren ohne Triebfahrzeugführer. Automatisierung bezieht sich auf alle Prozesse des Bahnsystems (vgl. Bild 1).

Aufgrund der hohen Sichtbarkeit und unmittelbaren Betroffenheit der Nutzer des Bahnsystems wird aber auch hier das automatisierte Fahren am meisten diskutiert und soll auch im Folgenden im Vordergrund stehen.

Auf Seiten der Eisenbahninfrastruktur (EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) verspricht ein automatisiertes Fahren an mehreren Stellen Vorteile. Die betrieblichen Eigenschaften des automatisierten Fahrens zeigen sich unter ande-

rem in einer optimierten und exakteren Fahrweise, einer höheren Bremsgenauigkeit, der präzisen Einhaltung von Steuervorgaben sowie einer hohen zeitlichen Abfahrts Genauigkeit. Zusätzlich können Aufgaben des Personals, wie die Abfertigung am Bahnsteig, automatisiert werden und unter bestimmten Randbedingungen auch der Personalbedarf im Zug verringert werden. Durch die automatisierte Fahr- und Bremssteuerung kann als weiterer Nebeneffekt die Fahrweise so angepasst werden, dass unnötige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge vermieden werden und so zusätzlich zur Energiereduktion auch eine Senkung der Betriebs- und Instandhaltungskosten sowohl im Fahrzeug, als auch an der Infrastruktur erreicht wird. Bei einer Vollautomatisierung kommt noch



**Dipl.-Ing. Leander Flamm**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Leander.Flamm@dlr.de



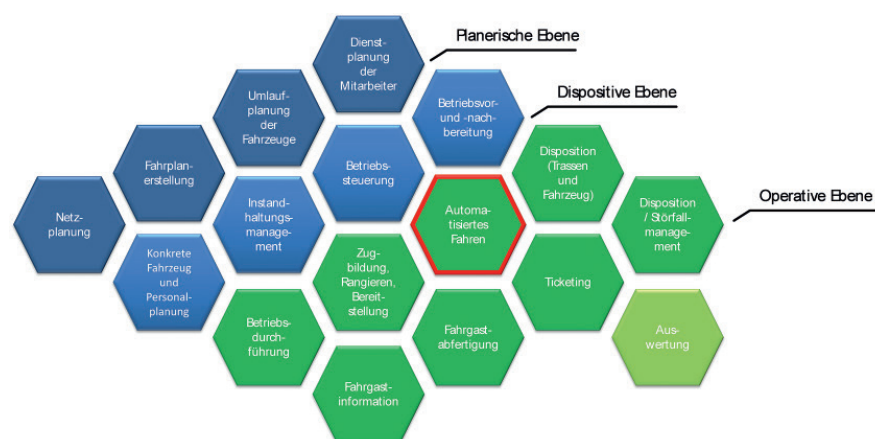
**Dr.-Ing. Christian Meirich**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Gruppenleiter Angebotsplanung und Betrieb  
Christian.Meirich@dlr.de



**Dr.-Ing. Bärbel Jäger**






Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Technologiefeldleiterin Bewertung des Verkehrs  
Baerbel.Jaeger@dlr.de



1: Prozesse des Bahnbetriebs (beispielhafte Darstellung) in Anlehnung an [1]

hinzu, dass flexibel auf Nachfrageschwankungen reagiert werden kann.

Für den Fahrgast im Personenverkehr und den Spediteur im Güterverkehr, im Folgenden als Nutzer des Bahnsystems zusammengefasst, stehen die nachfolgenden Vorteile im Vordergrund. Durch die erhofften zusätzlichen Zugfahrten im System können unter anderem die Wartezeiten bei Umstiegen reduziert, die Anschlüsse gesichert und dadurch eine verlässlichere

Marktsegment	Personenverkehr (HGV)	Flächenverkehr (Regionalnetz)	Urbane Verkehr (S-Bahn)	Güterverkehr	Werksbahnen und Rangierbereiche
					
	K. Jähne, CC BY-SA 3.0	Jivee Blau, CC BY-SA 3.0	Hugh Llewelyn, CC BY-SA 2.0	Martin Hawlich, CC BY-SA 3.0	Hafenbahn, CC BY-SA 3.0
<b>Eigenschaften</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• offenes Netz</li> <li>• homogener, hoher Geschwindigkeitsbereich</li> <li>• ähnliche Fahrzeugtypen</li> <li>• große Stationsabstände</li> <li>• hoher Automatisierungsgrad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• offenes Netz</li> <li>• geringe topologische Komplexität (eingleisig)</li> <li>• einfache Betriebsführung</li> <li>• Mischverkehr</li> <li>• unterschiedliche Fahrzeugtypen</li> <li>• sehr geringe Taktichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschlossenes Netz</li> <li>• geringe topologische Komplexität</li> <li>• homogener Geschwindigkeitsbereich</li> <li>• einheitl. Fahrzeugtypen</li> <li>• kurze Stationsabstände</li> <li>• hohe Taktichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterschiedliche, mittlere Geschwindigkeiten</li> <li>• große Vielfalt von Fahrzeugtypen</li> <li>• sehr schwere Züge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschlossenes Netz</li> <li>• geringe topologische Komplexität</li> <li>• homogener Geschwindigkeitsbereich</li> <li>• einheitl. Fahrzeugtypen</li> <li>• kein Fahrplan</li> <li>• Rangierbetrieb</li> </ul>
<b>Leistungsziel durch Automatisierung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapazität</li> <li>• Betriebsstabilität</li> <li>• Pünktlichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedarfsorientierung</li> <li>• Flexibilisierung</li> <li>• Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kapazität</li> <li>• Betriebskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebskosten</li> <li>• Arbeitsbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betriebskosten</li> <li>• Arbeitsbedingungen</li> </ul>
<b>Empfohlene Automatisierungsstufe</b>	Effekte teilweise bereits mit GoA 2	Erreichbar mit GoA 3 / 4	Gute Voraussetzungen: GoA 4	Effekte mit GoA 2, Lösung des Personalproblems GoA 4	Gute Voraussetzungen: GoA 4

GoA = Grade of Automation; GoA2 = teilautomatisierter Zugbetrieb; GoA3 = fahrerloser Zugbetrieb; GoA4 = begleiterloser Zugbetrieb

**Tabelle 1:** Vergleich der einzelnen Marktsegmente im Eisenbahnsektor

Reiseplanung erzielt werden. Damit wird das System für den Nutzer attraktiver. Im Bestfall können auch die auf Seiten des EVU eingesparten Kosten als Reduktion des Nutzerentgeltes weiter gegeben werden.

Eine Herausforderung sind im Gegenzug jedoch die entsprechend hohen Investitionen für die neue oder zusätzliche Technik, insbesondere bei einer Vollautomatisierung. Es ist also genau abzuwägen, welche Ziele mit der Automatisierung verfolgt werden, wie hoch der erzielbare Nutzen ist und welcher Aufwand damit verbunden ist. Für den fahrer- und begleiterlosen Betrieb spielen die Aspekte Machbarkeit und Durchsetzbarkeit noch eine essenzielle Rolle.

Tabelle 1 zeigt hierzu 5 charakteristische Marktsegmente, die vorhandenen Voraussetzungen, Motivation für die Automatisierung sowie mögliche Umsetzungsvarianten.

## 2. Technische Möglichkeiten und betriebliche Auswirkungen

Zur Ermittlung von Potenzialen durch die Automatisierung werden in diesem Kapitel verschiedene Szenarien auf ihre technischen Voraussetzungen sowie ihre betrieblichen Machbarkeiten und Auswirkungen hin untersucht. Konkrete technische Umsetzungen stehen hierbei noch nicht im Fokus der Arbeit. In den Szenarien

„hochbelastete S-Bahn-Systeme“ und „Regionalverkehr in der Fläche“ werden die dringendsten Motivationen für eine mögliche Automatisierung identifiziert. Während in S-Bahn-Systemen eine Erhöhung der Kapazitäten und die Verbesserung des Angebots im Vordergrund stehen, sind auf regionalen Strecken Kosteneinsparungen unter Beibehaltung des bestehenden Angebots ein wichtiges Ziel.

### 2.1. Hochbelastete S-Bahn-Systeme

Basis der Überlegungen sind die aktuellen Entwicklungen im Bereich des European Train Control System (ETCS), erste Betriebs-einführungen von „ATO over ETCS“ (ATO = Automatic Train Operation), sowie Simulationen zur Leistungsfähigkeitsberechnung des Betriebes im „Moving Block“.

Die fahrzeugseitige Software für ETCS kann ausgehend vom dem System zugrundeliegenden Plattformgedanken bereits mit den bestehenden Spezifikationen auf einen Betrieb in allen ETCS-Leveln vorbereitet werden und damit sowohl die Grundlage für eine Vollautomatisierung als auch für einen Moving Block-Betrieb darstellen. Insbesondere, wenn wie bei Triebzügen eine zugautarke Integritätsprüfung möglich ist, liegen alle technischen fahrzeugseitigen Bedingungen für einen Betrieb bis ETCS Level 3 vor. Die Wahl des Betriebsmodus hängt dann nur von der Ausrüstung

der Infrastruktur – beispielsweise ob die Ortung durch Achszähler, Balisen, oder über Satelliten erfolgt – und der Fähigkeit des RBCs bzw. Stellwerks, entsprechende Informationen zu verarbeiten, ab. Bei einem Verkehr von Zügen im Moving Block im Mischverkehr mit konventionellen Zügen ist für die Erteilung der Movement Authorities entweder

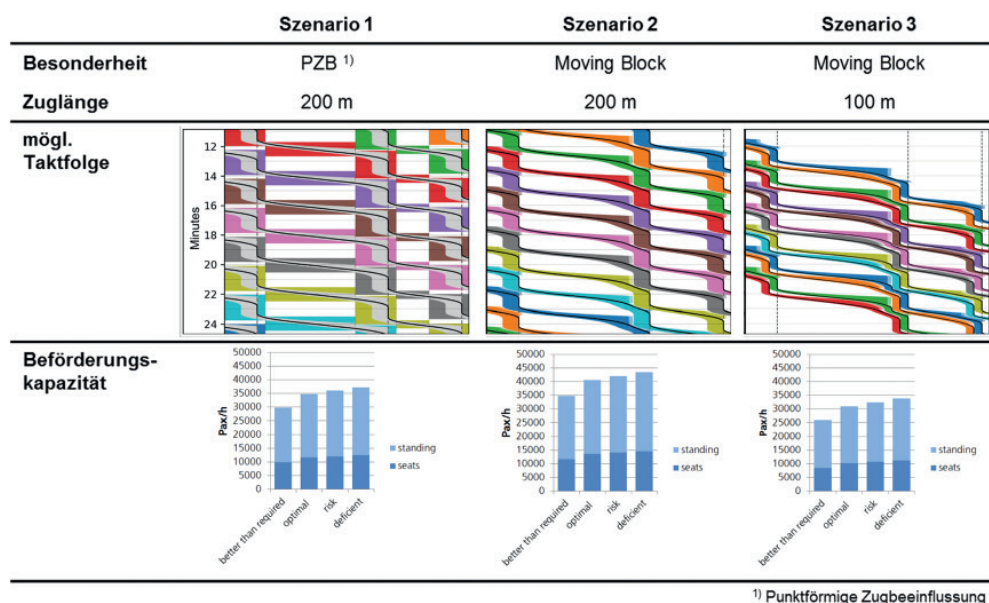
- das Zugende (Zug mit Zugintegritätsüberwachung) oder
- das Ende des belegten Blockabschnitts (Zug ohne entsprechende Ausrüstung)

maßgeblich. So könnte bereits im Mischverkehr mit konventionellen Zügen die Flexibilität erhöht werden. Lediglich eine Ausrüstung der konventionellen Züge für ETCS Level 1 wäre zwingend notwendig.

Von der Einführung eines Moving Block-Betriebs werden sich große Steigerungen der Leistungsfähigkeit erhofft. Tatsächlich kann durch Simulationen eine Verkürzung der fahrplanmäßig fahrbaren Zugfolgezeiten nachgewiesen werden[2]. Diese Effekte können durchaus auch ohne die Vollautomatisierung erreicht werden, indem durch Fahrerassistenzsysteme oder eine Teilautomatisierung bis GoA 2 eine Fahrzeugführung im Moving Block ermöglicht wird.

Auf hochbelasteten Strecken, wie beispielsweise S-Bahn-Stammstrecken, ist es

**2:** Ergebnisse der Simulationsläufe mit unterschiedlichen Betriebsverfahren und Zuglängen (dargestellt ist ein idealisierter Betrieb ohne Verspätungen, in den Simulationsläufen wurden Betriebsabweichungen berücksichtigt)



angesichts bereits bestehender Überlastungen notwendig, eine maximale Beförderungsleistung zu erbringen. Hierzu ist der Einsatz bahnsteiglanger Züge anzustreben, die durch die dichtere Fahrtenfolge im Moving Block im Vergleich zum Fahren im festen Raumabstand eine Erhöhung der Beförderungskapazität erreichen können [2]. Wird dieser Aspekt zur Steigerung der Fahrplanstabilität in Form von zusätzlichen Fahrzeitreserven und Pufferzeiten verwendet und wird zudem das Sitzplatzangebot gesteigert, ist für den Fahrgast jedoch keine substanzielle Angebotsveränderung spürbar. Vielmehr wird die zu erwartende Steigerung der Nachfrage bei gleichbleibender Qualität aufgenommen.

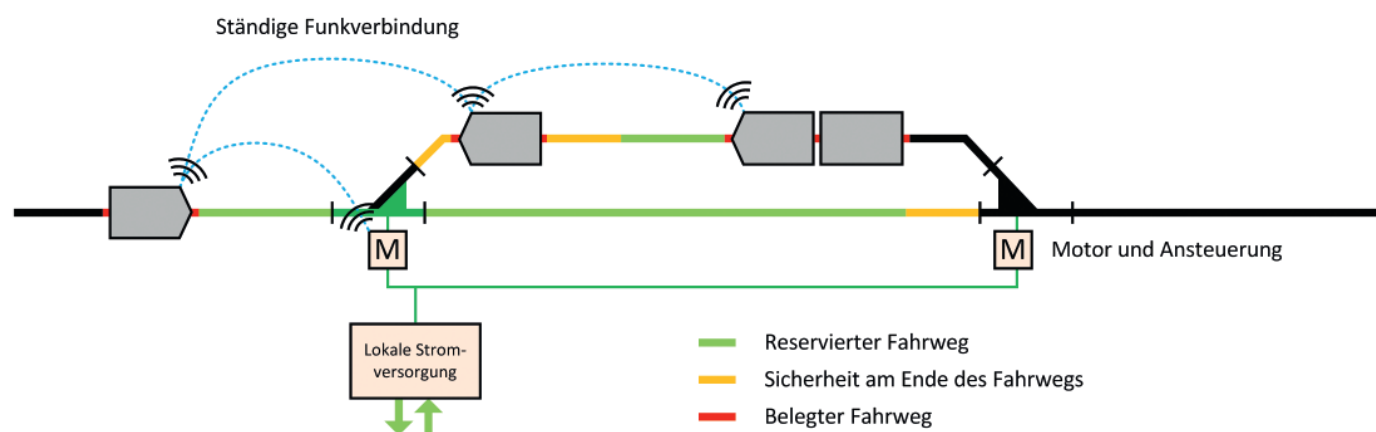
Wird andererseits eine Taktverdichtung angestrebt, um die Wartezeit der Fahrgäste zu reduzieren, sind Szenarien mit einer planmäßigen Mehrfachbe-

legung von Bahnsteigen in urbanen Schienenverkehrssystemen denkbar. Durch den Einsatz fahrerlos fahrender Kurzzüge – eine manuelle Zugsteuerung würde zusätzliches Personal bedeuten – kann die Fahrtenfrequenz ohne Infrastrukturausbau fast verdoppelt werden (vgl. Bild 2). Die Attraktivität des Verkehrssystems steigt durch den stark verdichteten Takt je Linie aus Nutzersicht stark an. Im Ergebnis kann gezeigt werden, dass diese Betriebsform eine im Vergleich zu bestehenden Systemen fast gleichbleibende Kapazität und Betriebsstabilität bieten kann, während das Fahrtenangebot stark verbessert wird. Es ist jedoch keine Kapazitätserhöhung erreichbar, weshalb dieser Ansatz eher für Netze ohne dedizierte Stammstrecke geeignet ist, in denen die Kapazität noch nicht technisch ausgereizt ist. Auch hier ist also eine Abwägung vorzu-

nehmen, durch welche Maßnahmen eine maximale Verbesserung im Gesamtsystem erreicht werden kann.

## 2.2. Regionalverkehr in der Fläche

Auf regionalen Strecken mit wenig Zugverkehr ist es kostspielig, die Sicherungslogik streckenseitig zu realisieren. Es sind lokale Stellwerke oder digitale Ethernet-Verbindungen zu einem zentralen Stellwerk erforderlich, wofür Kabelkanäle gebaut und unterhalten werden müssen. Gerade auf Strecken mit wenigen, weit auseinanderliegenden Stellelementen und einfachen Gleislayouts entstehen unverhältnismäßige Baukosten; hinzu kommen Kosten für die Planung der Sicherungstechnik. Aufbauend auf dem mittlerweile etablierten Ansatz, die Sicherungslogik von der Stromversorgung der Außenanlagen zu



**3:** Konzeptskizze der automatischen Fahrwegsteuerung durch Fahrzeuge auf Nebenstrecken

Richtlinie (RiL)	Task / Ausführung	Kommentar
301.0002 (9)	Ungültige Signale (weißes Kreuz)	Komplexe Bilderkennung & Anbindung Zugbeeinflussung notwendig
408.2554 § 2 (3)	Evakuierung im Tunnel bei Feuer im Zug	Erfordert nicht zwingend Tf, aber Zugpersonal
438 §2 (7)	eine richtigzeitige Uhr (Ausrüstung)	Mitarbeiter im Betriebsdienst

**Tabelle 2:** Auszug Regelwerksanpassungen nach [5], [6], [7]

entkoppeln und unter Berücksichtigung der Möglichkeiten, die sich durch eine funkbasierte Kommunikation zwischen Fahrzeugen und RBC im Betrieb mit ETCS ergeben, wurde ein zunächst theoretischer Ansatz einer autonomen Fahrwegsteuerung durch die Fahrzeuge entworfen (vgl. Bild 3). Die konkrete Ausführung würde sich nur an den technischen Lösungen von ETCS orientieren, da große Teile der Sicherungslogik in das Fahrzeug verlagert würden und daher Funkverbindung und RBC stark vereinfacht werden könnten. Weil mit Personal an Bord die finanziellen Einsparungen nicht erreichbar sind, wird eine vollautomatische Fahrzeugsteuerung (GoA 4) vorausgesetzt.

Die Aufgabe des RBC würde hierbei auf die Überwachung und Kommunikation der Fahrzeugpositionen beschränkt. Dies ist weiterhin notwendig, um Totalausfälle einzelner Fahrzeuge sicher zu detektieren, wenn sie sich außerhalb der Reichweite anderer Fahrzeuge befinden. Die Sicherungslogik wird dagegen auf die Fahrzeuge verlagert. Hierzu ist die Streckengeometrie auf den Fahrzeugrechnern zu hinterlegen, was einerseits für einige Ansätze des automatisierten Fahrens sowieso benötigt wird, andererseits aber den Einsatz der Fahrzeuge auf ihre jeweils bekannten Strecken beschränkt. Zwischen den Fahrzeugen und den Stelleinheiten (vornehmlich Weichen) erfolgen eine funkbasierte Kommunikation und eine selbstständige Freigabe eines eingestellten und freien Fahrwegs. An den Übergangsstellen zur herkömmlichen Sicherungstechnik oder zu komplexeren Knoten sind sichere Übergabeprotokolle zu definieren. Es verbleiben eine einfach zu projektierende Stromversorgung, ein on-board Fahrzeuggerät, die Aufnahme und Pflege digitaler Karten und die einmalige Entwicklung eines sicheren Funkmoduls für die Stelleinheiten. Gerade für gering genutzte Strecken könnten sich durch die so minimierte Infrastruktur langfristige Kostenvorteile gegenüber der konventionellen Technik ergeben.

### 2.3. Störfallbehandlung

Sowohl für den Betrieb auf hochbelasteten Kernstrecken als auch für die zuvor beschriebenen Nebenstrecken muss auch bei einer Vollautomatisierung eine effektive Störungsbehandlung sichergestellt sein. Auf Kernstrecken steht die schnellstmögliche Rückkehr zum Regelbetrieb im Vordergrund, auf regionalen Strecken muss dagegen eine grundsätzliche Störungsbehebung gesichert werden, wenn ein Zug abseits von Eingriffsmöglichkeiten liegen bleibt. Für beide Probleme bietet es sich an, eine Fernsteuerung von Zügen aus einer Leitstelle heraus zu ermöglichen. Wenn die automatische Steuerung des Zuges keine sichere Option zur Weiterfahrt findet, bleibt der Zug zunächst stehen und meldet das Problem an eine Zentrale, in der sich der Train Operator (TO) befindet. Ein TO kann dabei mehrere Züge überwachen. Nach der Meldung der Störung kann ein TO dem Zug zugewiesen werden und die Fahrt, so es denn technisch noch möglich ist, mit den vorhandenen Kamerasystemen an der Front des Zuges auf Sicht weiterführen. In vielen Fällen reicht es, den Bereich, in dem ein konkretes Problem vorliegt, zu durchfahren, wonach die Zugsteuerung wieder übernehmen kann.

Durch diese Vorgehensweise ließe sich ein Großteil der zu erwartenden Hürden eines vollautomatischen Systems beheben, wobei ein gutes Betriebsniveau in Form einer angemessenen Rückfallebene gehalten würde. Eine technische Lösung auch der letzten kleinen Probleme wäre aller Wahrscheinlichkeit nach teurer und unflexibler, als es ein menschlicher TO sein kann. Die Anzahl der benötigten TOs ist jedoch stark verringert im Vergleich zur Anzahl der Züge, da nur selten von einer Großzahl gleichzeitiger Ausfälle auszugehen ist. Essenziell für ein gut funktionierendes System ist eine adäquate Darstellung der aktuellen Zugparameter für den TO, damit eine sichere und schnelle Übernahme gewährleistet ist [3].

Die Automatisierung des Schienenverkehrs bietet sowohl für hochbelastete S-Bahn-Systeme als auch für gering genutzte Regionalstrecken Potenziale.

### 2.4. Regelwerke

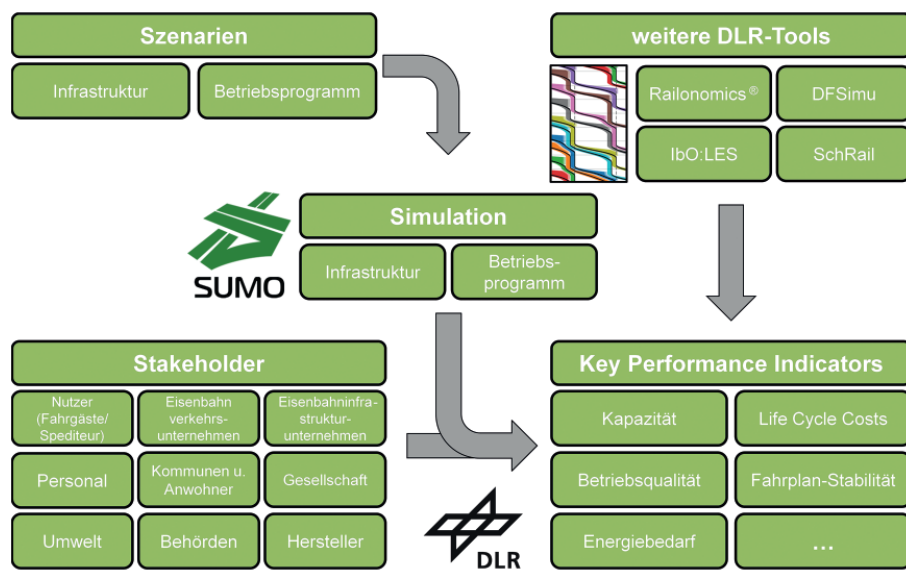
Wird eine Vollautomatisierung angestrebt (GoA3 oder GoA4) sind dazu erhebliche Änderungen in den Regelwerken und Gesetzen notwendig. Dabei wird die Rechtsprechung vor große Herausforderungen gestellt. Da das Recht stets an natürliche Personen adressiert wird, muss im Zuge eines fahrerlosen Betriebs ein Paradigmenwechsel erfolgen, da ein technisches System kein tauglicher Adressat des Rechts sein kann. Als Folge zunehmender Automatisierung muss sich demnach eine Haftungsverschiebung einstellen, bei der ein Betreiber des Systems sowie der Hersteller der technischen Komponenten verstärkt in den Fokus der Haftung rücken müssen. [4]

Ebenfalls müssen, wie bei der Anpassung des Rechts, die vorhandenen Regelwerke und Richtlinien angepasst werden, da historisch gewachsen viele Aufgaben direkt bzw. indirekt an den Triebfahrzeugführer gestellt werden. Diese Aufgaben können dabei komplex bis trivial sein und müssen durch die Einführung eines automatisierten Betriebes von den technischen Systemen übernommen werden (vgl. Tabelle 2).

### 3. Gesamtheitliche Bewertung „Railonomics® Skope“

Die in Abschnitt 2 skizzierten Beispiele zeigen, dass verschiedene Technologien und betriebliche Szenarien einen entscheidenden Einfluss auf das Bahnsystem haben können. Es ist also sinnvoll, vor Einführung neuer Technologien oder Betriebskonzepte die Auswirkungen auf alle Stakeholder zu analysieren und zu bewerten. Um nachvollziehbare und vergleichbare Bewertungsergebnisse zu erhalten, entwickelt das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raum-





4: Schematische Darstellung der Railonomics® Skope

fahrt e.V. (DLR) eine integrierte Toolkette. Mikroskopische Eisenbahnbetriebssimulationen oder -berechnungen und verschiedene DLR-Tools zur Simulation und Datenanalyse sollen dabei verwendet werden. Weiterhin wird die Open Source Simulation SUMO dahingehend ertüchtigt, technische und betriebliche Aspekte des Bahnsystems abzubilden. [8], [9], [10]

Neben rein betrieblichen Fragestellungen werden aber auch rechtliche Aspekte und Handlungskonzepte im Störfall behandelt und deren Auswirkung auf das System ausgewertet. Gleichzeitig werden Migrationsszenarien zur schrittweisen Einführung neuer Technologien bezüglich ihrer Potenziale und der notwendigen Aufwände untersucht und können so szenariobasiert miteinander verglichen werden.

Durch die Definition von technischen Szenarien für das Verkehrssystem können Methoden zur Bewertung und Darstellung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses, beispielsweise Lebenszykluskostenrechnungen, Kapitalwertmethoden oder Methoden zur Nutzwertanalyse anschließend angewendet werden. Dies ermöglicht ebenfalls einen direkten Vergleich der Untersuchungsszenarien sowie eine gesamtheitliche Bewertung hinsichtlich der benötigten Technik und Investitionen sowie der Betriebs- und Instandhaltungskosten.

Mit Hilfe der hier skizzierten Werkzeugkette Railonomics® Skope (Stakeholder-orientiert KPI Optimization and Evaluation) (vgl. Bild 4) können verschiedene Szenarien im Zuge der Automatisierung dargestellt, bewertet sowie unmittelbar miteinander

auf Basis von Key Performance Indicators (KPI) verglichen werden.

#### 4. Zusammenfassung

Die Automatisierung des Schienenverkehrs bietet sowohl für hochbelastete S-Bahn-Systeme als auch für gering genutzte Regionalstrecken Potenziale. Durch die unterschiedlichen Zielrichtungen können die technischen Ansätze aber grundlegend verschieden ausfallen.

S-Bahnen können von einer weiteren Kapazitätserhöhung durch Moving Block-Betrieb oder alternativ starken qualitativen Verbesserungen im Fahrplanangebot und in der Betriebsqualität profitieren. Neue Betriebsformen wie der Einsatz von Halbzügen in nahezu doppelter Fahrtenhäufigkeit bei Mehrfachbelegung von Bahnsteigen werden durchführbar. Durch dieses Betriebskonzept kann eine Individualisierung des Verkehrsangebots ohne Kapazitätseinschränkungen erreicht werden. Generell sind die beschriebenen Verbesserungen auch ohne eine Vollautomatisierung erreichbar; wichtiger ist eine Ausrüstung von Fahrzeugen und Infrastruktur für einen Betrieb mit Moving Block.

Regionalbahnen dagegen haben die Aussicht, durch die Einsparung von Außenelementen an der Infrastruktur und durch den Verzicht auf eine durchgängige Besetzung der Fahrzeuge durch Personal bei gleichbleibendem Angebot Kostenreduktionen zu realisieren. So können Regionalverkehre in schwächer besiedelten Regionen auch in Zukunft ein nachhaltiges Verkehrsangebot darstellen.

Die integrierte Toolkette Railonomics® Skope des DLR kann einen Beitrag leisten, konkrete Umsetzungsszenarien zu analysieren und zu bewerten. Durch den umfassenden Ansatz kann die gesamte Prozesskette von ersten Konzepten, über betriebliche und technische Untersuchungen bis hin zur Kosten- und Nutzen-Ermittlung abgebildet werden. Das DLR ist somit gut aufgestellt, an der Umsetzung der Automatisierung im Schienenverkehr aktiv mitzuwirken.

#### Literatur

- [1] Dohmen, Claus ; Scholz, Gero: IT-Systeme für Verkehrsunternehmen: Das Branchenmodell ITVU. 2012
- [2] Meirich, Christian; Flamm, Leander: Urbane Mobilität – Konzeptioneller Entwurf eines automatisierten Bahnbetriebs: Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Verkehrssystemtechnik. 2018
- [3] Brandenburger, Niels; Naumann, Anja; Grippenkoven, Jan Daniel; Jipp, Meike: Der Train Operator - Situative Fernsteuerung von automatisierten Zügen. In: EI – Der Eisenbahningenieur (2017), Nr. 09, S. 13 – 15
- [4] Hagemeyer, F.; Meirich, Ch.; Meyer zu Hörste, M.; Preuß, M.: Regulatorische Vorgaben für das automatisierte Fahren auf der Schiene: Studie im Auftrag der Dr. Hermann und Ellen Klaproth Stiftung. ISBN: 978-3-9819209-9-4. 2018.
- [5] DB Netz AG: Richtlinie 301 – Signalbuch (idF v. Aktualisierung 9) (2016-12-11)
- [6] DB Netz AG: Richtlinie 408 – Fahrdienstvorschrift (idF v. 48) (2016-12-11)
- [7] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV): Fahrdienstvorschrift für Nichtbundeseigene Eisenbahnen/RIL 438 (idF v. 2015) (2015-12-15)
- [8] Krajewicz, Daniel; Erdmann, Jakob; Behrisch, Michael; Bieker, Laura: Recent development and applications of SUMO – Simulation of Urban MObility. In: International Journal On Advances in Systems and Measurements, 2012, 5. Jg., Nr. 3&4
- [9] Wießner, Evamarie; Erdmann, Jakob; Flamm, Leander; Jäger, Bärbel: Auf Straße und Schiene mobil – intermodale Verkehrssimulation mit SUMO, In: Signal + Draht, 2018, 110. Jg., Ausgabe 11/2018
- [10] Böhm, Thomas und Scheier, Benedikt (2010) Railonomics – für eine bedarfsgerechte Infrastruktur. EI – Der Eisenbahningenieur, 61. Jahrgang (Januar 2010), Seiten 32 – 36. Tetzlaff Verlag. ISSN 0013-2810

#### Summary

#### Implementation of the automated railway system between technology, regulation standards and economic efficiency

Digitization and automation are key technologies and shall increase the efficiency and reliability of the railway system. The German Aerospace Centre (DLR) is investigating possible solution approaches and evaluating them, for example, on capacity effects and cost efficiency. Necessary modifications in the approval process as well as in the regulation standards shall be considered.